

Fig. 1- Esquema de un edificio de pisos.

## PROYECTO DE ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO CON ORDENADORES PERSONALES<sup>1</sup>

Javier Lahuerta, Prof. Dr. Arquitecto.

### 1. Introducción

El **hormigón armado** es el mejor material estructural que ha conseguido el hombre. Roza lo maravilloso que con él pueda obtenerse casi cualquier forma, y que admita toda sollicitación. Esto lo dijo Pier Luigi Nervi hace decenios, y sigue siendo válido en 1987.

En este **decenio 199** del siglo 20 se construyen en España con hormigón armado, incluyendo algunos elementos pretensados, más de las tres cuartas partes de las estructuras de los edificios, y casi el 90% de los edificios de pisos. En el resto del mundo ocurre algo semejante salvo en las viviendas unifamiliares en ciertos países.

De **acero laminado** suelen hacerse los edificios de 25 o más pisos, y los edificios de nave de grandes luces. De **fábrica de ladrillo** o de **piedra** edificios de hasta tres o cuatro pisos, pocas veces más, pero casi siempre con forjados de hormigón armado y a veces vigas y pilares interiores. La **madera** se emplea en viviendas unifamiliares en otros países, no en España, y en pocos edificios más.

**No han empleado** la madera estructural muchos arquitectos; las fábricas y el acero laminado algunos; pero será rara excepción quien no haya construido edificios con estructura o al menos con elementos de hormigón armado.

Una **anécdota**. En nuestra Escuela de Arquitectura de Pamplona cada alumno de Estructuras redacta el proyecto completo de la estructura de hormigón armado de un edificio pequeño, cuyo anteproyecto ha realizado él. En una ocasión un alumno me dijo: Yo por una cuestión de principio no haré nada de hormigón armado cuando ejerza la profesión. Por ello no voy a hacer este ejercicio. Respondí: como creo que su formación será incompleta si no lo hace, tendrá que hacerlo. Pocos años después vino a consultarme sobre ciertas dificultades de una pequeña estructura de hormigón armado de un proyecto que le habían encargado.

### 2. Antes de empezar

**Perogrullo** diría al arquitecto que ha recibido el encargo del proyecto de un edificio, que fuese a ver el solar antes de hacer nada. Este consejo tan evidente no

se sigue siempre y a veces da lugar a perjuicios importantes.

La **cimentación** es necesario preverla ya en el anteproyecto. El **estudio geotécnico zonal**, del polígono urbanístico en que se sitúa el edificio debe conocerse antes de empezar el anteproyecto. Y debe haberse encargado el **estudio geotécnico local** del solar, o mejor tenerlo ya en mano, pues el terreno condiciona en general mucho. Olvidarlo puede dar lugar a que el sótano no sea económicamente excavable, como ha ocurrido recientemente en un edificio importante, o que la cimentación sea tan costosa que convenga aconsejar al promotor que venda el solar y compre otro.

La **estructura** requerirá materiales y elementos de forjado o de otra clase que es preciso conocer, preguntando a los que construyen en el entorno. Tras el siniestro de un edificio, que tuvo resonancia nacional, apareció que al hormigón se le exigía una resistencia que no era posible obtenerla con los áridos producidos y empleados en la zona, que eran de muy baja calidad.

Los **métodos locales** de ejecución es preciso también conocerlos para proyectar de modo que no se complique excesivamente la realización de las obras. No es económico tener que traer operarios o elementos de fuera, o correr el riesgo de que se hagan las cosas indebidamente.

Suele **conocer** ya bastante bien todo esto el arquitecto que trabaja en la ciudad en que reside, no así el que lo hace por primera vez en otra distinta. Pero las diferencias de unas zonas a otras de la ciudad en condiciones del subsuelo, en agresividad del ambiente, u en otras circunstancias, exigen tomar estas precauciones.

### 3. Anteproyecto de la estructura

La **estructura** del edificio debe ser preocupación del arquitecto desde que inicia los croquis, que se materializarán después en el anteproyecto, o proyecto básico.

**Conforma** la estructura al edificio, además de resistir el conjunto de acciones. Equivale al esqueleto de un animal. Es un grave error acordarse de que la estructura es necesaria cuando el anteproyecto está redactado y meterla entonces como se pueda. Error por otra parte bastante frecuente.

Un **edificio de pisos** destinado a viviendas suele tener al menos tres grupos de pisos, cada grupo con exigencias diferentes que condicionan la posición de los pilares en la planta (fig. 1).

El **grupo inferior**, de uno o más pisos de sótano, frecuentemente destinados a garaje. El aprovechamiento del área exige una modulación adecuada al tamaño de la plaza de garaje: 4,50 por 2,20 m en general, y una disposición de circulaciones adecuadas.

<sup>1</sup> Conferencia del autor en el Colegio Oficial de Arquitectos.





El **grupo medio**, de uno o más pisos comerciales. En éstos es deseable máxima diaphanidad y gran facilidad de acceso.

El **grupo superior**, de pisos de viviendas. La funcionalidad y el aprovechamiento del espacio se consigue en general mediante disposiciones complejas de tabiquería, y es deseable que los pilares queden ocultos en lo posible en los encuentros de aquella.

Los **pilares** tienen para cada grupo una posición óptima, que en general es diferente de uno a otro, al ser distintas las exigencias compositivas que han de cumplir. El arquitecto tiene que establecer un compromiso entre las posiciones en los tres grupos, y las conveniencias y limitaciones técnicas y económicas de su estructura. Así se llega a una posición de los pilares en el conjunto de los grupos de los pisos, que generalmente no es la óptima de ninguno de ellos sino simplemente buena para cada uno.

Este **compromiso** entre los grupos de plantas no es un hecho aislado al proyectar un edificio. Cada una de las numerosas peculiaridades compositivas se ha obtenido como compromiso entre exigencias más o menos contrapuestas. Por ello el proyecto de un edificio sobre un solar, con un programa dado, tendrá tantas soluciones diferentes como arquitectos lo redacten, que pueden valorar de modo distinto cada una de las exigencias funcionales, estéticas, técnicas, económicas, etc., al tomar las decisiones compositivas.

Las **vigas** tienen también sus exigencias mecánicas de resistencia y deformabilidad. Y condiciones estéticas, la más importante de ellas que no se vean, o aparezcan lo menos posible. Así se evita emplear cielorraso para taparlas, lo que hace perder espacio y encarece.

Los **forjados** se adaptan bien en general, a cualquier composición, pero su espesor está condicionado por la deformabilidad, y por el aislamiento acústico entre pisos, y debe definirse desde el principio.

Las **escaleras** deben poder sustentarse y ejecutarse con facilidad. Su disposición y sus elementos de apoyo pueden también condicionar algo la composición.

Las **terrazas** en áticos o de otra clase. Es desagradable tener que subir un peldaño para salir a ellas. Puede solucionarse rebajando 25 cm el forjado bajo ellas. Es fácil si se hace en el anteproyecto.

Las **cubiertas** inclinadas deben estar estructuralmente resueltas con sencillez. Las **cajas de ascensor**, etc. etc., todo debe pensarse estructuralmente en el anteproyecto. Hacerlo es misión importante del arquitecto, que a veces se olvida.

#### 4. Redacción del anteproyecto

El **anteproyecto**, o proyecto básico, de un edificio representa lo que se proyecta edificar, con detalle insuficiente para la ejecución de las obras, pero suficiente para que puedan emitir su juicio las personas y organismos interesados:

El arquitecto en primer lugar, para su sucesiva autocrítica.

El promotor y sus asesores técnicos y económicos, para sus análisis y estudios de rentabilidad.

Las entidades de financiación, protección oficial, aseguradoras, etc., para la aprobación de los créditos y beneficios fiscales.

La oficina municipal, comunitaria o estatal, para conceder el permiso de construcción.

Los **croquis** previos a los planos del anteproyecto suelen hoy dibujarse por el arquitecto, o por colaboradores suyos, a lápiz sobre hojas de papel; en España en el 98% de los casos. Pero ya hay algo más del 2% de arquitectos que poseen un ordenador con **programa de dibujo asistido**. Sobre un tablero digitizador (fig. 2) se aplica un punzón con pulsador, que traslada a la memoria del ordenador y exhibe en la pantalla, el dibujo que se va trazando mediante puntos y órdenes de formas y elementos. También existe, y se va introduciendo, el **programa de proyecto asistido** que retiene en tres dimensiones lo que se va proyectando, y puede así exhibirlo en pantalla.

Los planos del anteproyecto, basados en los croquis definitivos, suelen hoy dibujarse por delineantes, o el propio arquitecto en algún caso, primero a lápiz y en general después a tinta sobre papel vegetal. Cuando se emplea un programa de dibujo o de proyecto asistido, los croquis perfeccionados en la pantalla se dibujan mediante un trazador (plotter) conectado al ordenador, con tinta negra o de colores sobre papel blanco o (fig. 3) vegetal, o sobre película poliéster.

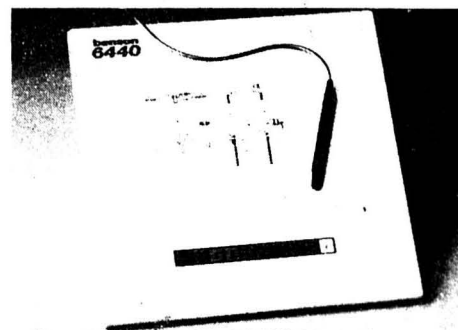


Fig. 2- Tablero digitalizador

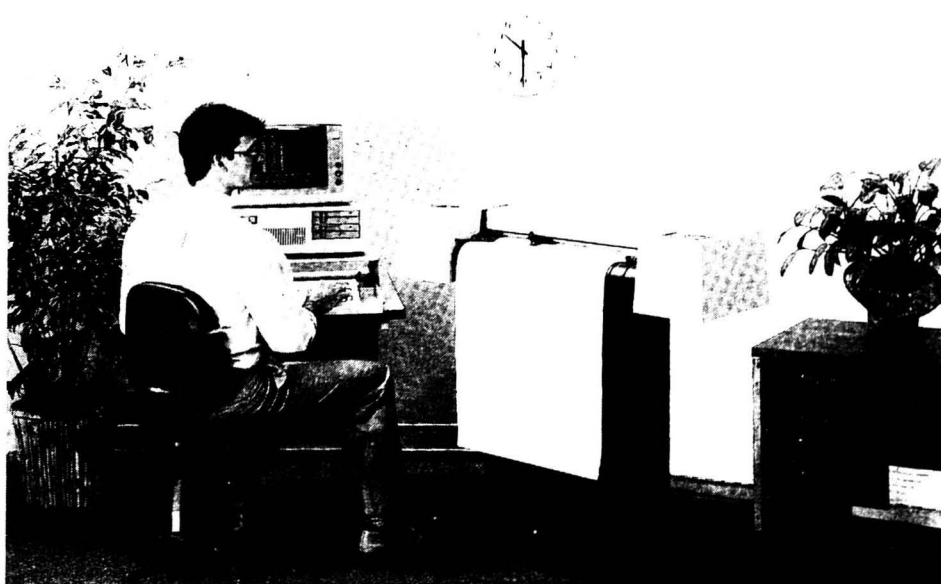


Fig. 3- Trazador (plotter)





Fig. 4- Impresora (printer)

La memoria del anteproyecto, documento en el que se debe justificar la solución en su conjunto y cada uno de sus detalles significativos, es conveniente que la inicie el arquitecto cuando comienza los croquis. Es muy útil escribir las razones por las cuales adopta una solución y se desechan otras posibles. Releer más adelante las razones antedichas permite contrastar su validez o su caprichosidad, y de este modo reconsiderar y en general mejorar el croquis. La escritura puede hacerse con lápiz o con máquina de escribir sobre hojas de papel; o sobre el teclado del ordenador, que la presenta en su pantalla, la inscribe en su memoria, y puede después pasarse a papel con la impresora (printer) (Fig. 4).

En **antepresupuesto** suele hacerse en general midiendo el área edificada de cada tipo, evaluando el coste unitario (por m<sup>2</sup> edificado) basándose en los costes unitarios reales de edificios anteriores rectificadas con consideración de la inflación. Esto es fácil y rápido hacerlo a mano, pero también el programa puede tener método de medición de áreas, y datos de coste unitario en su memoria, realizarlo y presentarlo impreso.

El **ordenador** con uno u otro programa, ¿es pues conveniente para redactar el anteproyecto? Evidentemente sí, y por ello va introduciéndose paulatinamente entre los arquitectos. Reduce el número de colaboradores necesarios y por consiguiente la nómina anual del arquitecto y el tiempo de redacción. Pero requiere una inversión fuerte, hoy del orden de 12 MPta, con programa de proyecto, y 5 MPta con programa de dibujo, incluyendo una impresora y un trazador para planos de formato AO (84 por 118 mm), o al menor A1 (594 por 84). Y además requiere un largo aprendizaje su uso. Quizá seis o más meses para adquirir suficiente soltura.

## 5. Los ordenadores

Las **máquinas** ideadas y construidas por el hombre tienen por objeto en su gran mayoría realizar trabajos que antes se hacían por animales o por otros hombres. Trabajos mecánicos, en su acepción física de fuerza por espacio. Trabajos artesanales, destrezas de oficios varios. Trabajos de directivos, de científicos, de pensadores, etc.

El **trabajo mecánico** de los animales hace ya tiempo que ha sido ventajosamente sustituido por máquinas. El de los brazos del hombre es cada vez menos necesario, y se ayuda en medida creciente por máquinas apropiadas. Por ello la cantidad de trabajo que hoy se efectúa cada día es 50 ó 100 veces mayor que hace dos siglos.

El **trabajo artesanal** peculiar del hombre adiestrado en un oficio ha sido más difícil sustituirlo por el de máquinas. Desde hace bastantes siglos ciertos artesanos se ayudaron eficazmente con

máquinas. El torno de alfarero, el telar de tejedor, el fuelle de herrero, etc., son ejemplos. Hace dos siglos comenzó la producción en serie con máquinas que el hombre sólo necesita manejar. Hilaturas, telares, laminadoras, galleteras, etc. A mitad de este siglo ha aparecido el robot, artesano mecánico dirigido por un ordenador, que el hombre sólo necesita programar e inspeccionar.

El **trabajo directivo y científico** está cada vez más asistido por ordenador. Esta asistencia consiste en: Facilitar datos almacenados previamente en la memoria del ordenador. Acopiar datos procedentes de ensayos realizados en laboratorio con acciones programadas, o sobre cosas reales: edificios, puentes, máquinas, etc., sometidas a las acciones aleatorias que actúan sobre ellos. Efectuar en fracciones de segundo operaciones complejísimo con datos que se le aportan, o que toma el ordenador de su memoria. Realizar operaciones lógicas sobre expresiones conceptuales, algebraicas, numéricas, etc. que ayuden a la toma de decisiones. El ordenador sustituye aquí ya a muchas personas.

El **trabajo pensante** no va a ser fácil sustituirlo por operaciones del ordenador, aunque se auxilie mucho con las antes indicadas, que utilizan directivos y científicos. La facultad de pensar, que Dios ha dado al hombre estriba fundamentalmente en la asociación de conceptos. Recibimos información del mundo exterior mediante los sentidos y la mente la elabora en forma de conceptos, la ordena y la almacena en la memoria. Al pensar se sacan conceptos de la memoria, consciente o inconscientemente, se relacionan y se elaboran conceptos nuevos. Se abstraen para conocer mejor y se aplican las abstracciones para concretar y realizar.

**Programas de ordenador** (Soft-ware), que extraen conceptos almacenados en la memoria efectúan con ellos operaciones de relación, y sacan de ellas consecuencias, son cada vez más numerosos y mejores. Son muy útiles para que el operador tome decisiones, o para que sus elementos terminales sobre máquinas las tomen. Pensar es sin embargo algo más elevado, es elaborar nuevos conceptos operativos y ésto por ahora los ordenadores no lo hacen.

## 6. El arte de proyectar

**Proyectar** es una facultad humana incluida en la más general de pensar. Esta facultad, como todas, se adiestra ejercitándola. Y para ejercerla necesita conceptos en la mente, que se aprenden didácticamente en las Escuelas o autodidácticamente. De la veracidad y precisión de cada concepto, y de la cantidad de ellos, depende que se proyecte realista y correctamente, o falsa y utópicamente. Tanto los edificios como sus estructuras.

Es un arte apoyado en técnicas. Al



proyectar tanto un edificio, como su estructura hay que estar resolviendo problemas, como el que se mencionó de la posición de pilares. Algunos de estos problemas tienen incógnitas definidas y en número finito, y pueden plantearse ecuaciones para su resolución. La solución requiere solamente técnica. Pero muchas más veces las incógnitas son poco o nada definibles, y no es posible establecer entre ellas relaciones lógico-matemáticas. El problema suele tener muchas soluciones, y decidir una requiere arte.

El **ejemplo de los pilares**, antes mencionado requiere decidir cuantos se ponen. Su número no es previamente conocido. Cada uno de ellos puede definirse por dos coordenadas incógnitas  $x$  y  $y$  en el plano de planta. Así cientos de incógnitas es muy frecuente, a veces muchas más. Pero no es nada sencillo establecer las ecuaciones entre estas incógnitas ya que los condicionantes son múltiples y dispares. La mente del arquitecto que proyecta los conoce de algún modo, los valora y llega a una solución que es la que juzga mejor en el momento y que probablemente variará si la reconsidera días después, por conocer mejor algunos condicionantes o por variar su juicio de importancia y prioridad.

El **ordenador** con programa de dibujo asistido permite visualizar la solución en su pantalla más rápidamente que en dibujos manuales, pero no puede hacerse nada, o casi nada para llegar a la solución. Todo o casi todo tiene que hacerlo el operador. El arquitecto que maneja el ordenador.

**Error** muy extendido es pensar que el que maneja un ordenador puede saber menos que el que opera a mano. Es lo contrario. Tiene que saber lo mismo de la disciplina de que hace uso, pero además tiene que conocer perfectamente el manejo del ordenador o no le sacará más que una pequeña parte del rendimiento posible. Esto es aplicable tanto al dibujo asistido de que se está hablando, como del dimensionado y armado de la estructura que se verá más adelante.

## 7. Predimensionado

La **concepción** de la estructura se ha gestado en el anteproyecto. El arquitecto la tiene en la cabeza, y además en los planos o en la memoria del ordenador. Debe saber como se comporta aunque no conozca los valores numéricos de sus solicitaciones. Ha efectuado un predimensionado de los forjados y de las vigas basado en las experiencias arquitectónicas y en reglas simples. Estas para los edificios de viviendas pueden ser:

**Forjados.** Conviene que el rateo canto/luz no sea inferior a los valores indicados en la fig. 5.

La Norma MV 201, de muros de fábrica, en su artículo 4.5, tiene una exi-

Fig. 5- Rateos canto/luz mínimos en forjados y vigas de hormigón

Clase de uso	Situación del tramo de forjado o viga	El rateo canto/luz en % conviene no sea inferior a:		
		Forjados y losas	Vigas planas	Vigas resaltadas
Viviendas u hoteles	Aislado	37	43	50
	Continuo externo	26	34	46
200 kp/m <sup>2</sup>	Continuo interno	26	34	46
	Aislado	45	51	60
Comercial o garage	Continuo externo	31	41	56
	Continuo interno	31	41	56
500 kp/m <sup>2</sup>	Aislado	45	51	60
	Continuo interno	31	41	56

gencia 10% menor, que es suficiente con los forjados de luces, no superiores a 5 m, que son las tradicionalmente empleadas en edificios con muros resistentes.

La Instrucción EH de hormigón, en su comentario 47.3, recomienda una exigencia 35% mayor para no tener que comprobar la flecha. Muchos consideramos excesivos los valores que da esta recomendación.

En los locales comerciales y garajes el ratio canto/luz debe ser un 20% mayor, debido a las sobrecargas de uso de 400 ó 500 kp/m<sup>2</sup>.

**Vigas planas**, de ancho 40-120 cm Aún considerando que tienen unión rígida con los pilares, su rateo canto/luz no conviene sea inferior a los valores de la fig. 5.

Como su canto es igual al de los forjados que sustentan es conveniente que la pauta de los forjados sea paralela a la luz mayor, y que las vigas tengan luces menores.

**Vigas resaltadas.** El ancho y el canto se eligen en general por razones arquitectónicas. Por ejemplo, las vigas en medianería, pueden tener un ancho de 12 cm, igual que la citara de ladrillo. La placa aislante se adhiere en viga y citara y se coloca un tabique delante. La viga no se resalta y el aislamiento es óptimo. Las vigas de fachada conviene que enrasen con el dintel de la ventana. No conviene tengan rateo canto/luz inferior a 1/20.

**Pilares.** Para ocultarlos lo más posible conviene que su sección sea rectangular. Por ejemplo: En las plantas de pisos, con altura de 2,80-3,00 m, la sección conviene que sea de 25 cm de ancho y el canto necesario. Así se ocultan en los muros exteriores sin resalto. En las plantas de altura mayor 3,50-5,00 m, se aumenta el ancho a 30-50 cm. Para el dimensionado no es fácil establecer reglas. Si no se tiene experiencia de proyectos anteriores, conviene hacer el tanteo de cargas en todos los tramos de dos o más pilares tipo, y determinar me-





diante tablas las secciones, previendo pueden aumentarse sin estorbo.

## 8. El proyecto

Los **Planos** del proyecto incluyen un conjunto de ellos, representación gráfica completa de la estructura. Cada plano de estructura tiene que ser inteligible por el aparejador, el jefe de obra y el encargado, sin necesidad de aclaraciones orales y sin tener que medir sobre ellos, sólo leer cotas. En la práctica aclaraciones siempre se piden, pero en un proyecto bien redactado deben ser pocas. Las prescripciones particulares, del tercer documento de proyecto, es muy conveniente que además estén rotuladas en los planos.

La **Memoria** del proyecto tiene un capítulo dedicado a la estructura, en el que se justifica la disposición general y la de sus partes. Se detallan y justifican los materiales empleados, y sus características; las acciones adoptadas en el cálculo; y los métodos de ejecución. Y tiene un Anejo estructural recopilación de todos los cálculos efectuados, preparado para poder ser verificado fácilmente por personas técnicas de la administración o de una empresa de control.

La **disposición** y el predimensionado de los elementos de la estructura se establecen en el anteproyecto. El tipo de forjados que conviene emplear se ha decidido con el promotor, y si es posible con conocimiento del constructor. Con estos datos se preparan las plantas de estructura, una por cada piso que la tenga diferente. Se dibujan en ellas con una línea cada uno de los nervios o semiviguetas y se incluyen todos los pasos que hay que dejar para conductos de ventilación, tuberías, etc. Cada viga se dibuja con dos líneas de modo que quede definitiva su anchura. Los pilares y extremos de vigas se rotulan con un sistema ordenado de siglas.

Los **métodos** de cálculo, los coeficientes de seguridad adoptados en función de los niveles de control del proyecto, las combinaciones de carga que se aplican, las resistencias de cálculo de hormigones y aceros, diagramas tensión-dilatación de cálculo, y demás premisas del cálculo, se describen ordenadamente en la Memoria para conocimiento de quien tenga que revisar el proyecto de la estructura. En primer lugar el propio arquitecto.

Las **acciones** que se aplican en la estructura se reseñan en el correspondiente apartado de la Memoria, como se exige en la Norma MV 101-1962. Conviene bastante detalle, para ahorrar trabajo posterior y hacer más cómodas las comprobaciones. Los casos de combinación y métodos simplificados usados para las alternancias de las sobrecargas de uso en forjados y vigas, se detallan también.

## 9. El cálculo de los forjados

El **Anejo Estructural** a la Memoria del Proyecto suele iniciarse con el cálculo de los forjados del edificio. En las plantas de estructura se han rotulado todos los tramos diferentes de forjado. Cargas y demás datos generales se reseñan en el Anejo, y en cartelas de los planos.

Los **forjados** con semiviguetas tienen definidas sus características en la Ficha de Autorización de Uso del MOPU, que habrá entregado su fabricante. Si son nervados, proyectados por el arquitecto, debe confeccionar previamente su ficha.

Las **solicitaciones**, en los forjados de dos o más tramos suelen hoy calcularse utilizando la redistribución de momentos que permite la Instrucción EH 82. En cada tramo, para la carga total, se iguala el valor absoluto de los momentos de vano con los de apoyo en continuidad. Para las alternancias de sobrecarga pueden admitirse estos mismos momentos de apoyo, y aumentan las longitudes afectadas por momentos negativos.

Las **semiviguetas** y, o armaduras de cada tramo se obtienen mediante los datos de la Ficha de Características. Las flechas se calculan en régimen elástico, o por método simplificado sobre las solicitaciones con redistribución. Se emplean los módulos de flecha correspondientes en la Ficha.

El **cálculo** se efectúa así fácilmente a mano. Pueden usarse programas de ordenador que introducen los datos de la Ficha de Características, calculan las solicitaciones, semiviguetas, diámetros y longitudes de las armaduras superiores y comprueban la condición de flecha. Si ésta no se cumple suele ser necesario aumentar el canto.

## 10. Solicitud de vigas y pilares

El **cálculo** de solicitaciones, dimensiones y armaduras definitivas se inicia sobre las disposiciones del anteproyecto. Se efectúan las modificaciones de detalle necesarias para conseguir que cada elemento de la estructura, y su conjunto, tengan la seguridad exigida por las Normas, la conveniente sencillez de ejecución, y la máxima economía posible.

Las **solicitaciones** de vigas y pilares pueden obtenerse mediante un cálculo global de la estructura total. Pero esto requiere un ordenador de capacidad bastante mayor que la usual en los personales, y un programa muy complejo que hoy no es aun de uso común. Lo normal es descomponer la estructura en pórticos planos que se calculan separadamente. Los pilares comunes a dos pórticos cruzados se calculan superponiendo las solicitaciones correspondientes a cada uno.

Las **acciones gravitatorias** se aplican en cada viga. Se reseñan en un **listado de vigas** que comprende: Designación





de las vigas, luz, sección previa, y detalle de cargas. Conviene incluir además la solicitación isostática: reacciones y momento flector máximo, lo que permite un primer juicio sobre la sección previa. El listado puede hacerse a mano en un impreso, o en el teclado del ordenador, que suministra ayuda de operaciones.

Las **acciones horizontales** de viento o sísmicas se aplican sobre estructura total. Su distribución a cada pórtico se efectúa a través de los forjados, que actúan como vigas horizontales. En estructuras con simetrías, en las que se producen traslaciones horizontales paralelas entre las plantas, el cálculo de las acciones de cada pórtico es sencillo, y los procedimientos simplificados son suficientemente exactos. En estructuras asimétricas, entre las plantas se producen giros horizontales además de traslaciones. El cálculo de las acciones que recibe cada pórtico es muy complejo y los procedimientos simplificados pueden dar inexactitudes importantes. Deben por ello evitarse en el anteproyecto disposiciones estructurales con asimetrías ilógicas.

A **mano** puede realizarse el cálculo de las solicitaciones de los pórticos. Suele emplearse el método de CROSS, con las simplificaciones de: división horizontal por techos, aplicación de simetrías, consideración de la redistribución permitida, y otras.

Con **ordenador personal** se realiza cada vez más este cálculo. Se emplean programas, que hoy en general se basan también en el método de CROSS, y que han ido perfeccionándose en los pocos años transcurridos desde que aparecieron los primeros. Estos programas pueden dar los listados de momentos flectores, esfuerzos cortantes, esfuerzos normales y flectores, o continúan con el armado de las vigas y pilares. También suelen dar gráficas de solicitaciones.

## 11. Armado de vigas y pilares

A **mano**, en cada barra, viga o pilar, a partir de las solicitaciones calculadas, se comprueba que la sección es suficiente mediante tablas, de lectura directa para las secciones más frecuentes, o mediante una sencilla operación auxiliar para otras secciones. Si en algún caso la sección es insuficiente es preciso aumentarla y establecer las correcciones en las solicitaciones. Las tablas dan además las armaduras longitudinales necesarias en los puntos precisos de cada barra. Y con otras tablas las armaduras transversales, estribos y cuando convenga barras levantadas.

Los **programas** de ordenador actuales hacen esta comprobación de la sección. Señalan si una sección no es suficiente, y en este caso se vuelve atrás para aumentarla y se repite el cálculo. También obtienen las armaduras necesarias en los puntos precisos de cada

barra. Generalmente presentan los resultados gráficamente dibujando las vigas con la impresora, que dan las armaduras en posición y despiezadas, con las longitudes necesarias considerando los anclajes requeridos. Suelen utilizar sólo estribos como armaduras transversales.

La **controversia** barras levantadas si o no, que viene de antiguo, la han resuelto sistemáticamente los programas que conozco en no, probablemente porque el si complica bastante más el programa. Las barras levantadas tienen las siguientes ventajas, que sin embargo son despreciadas:

**Igualdad de estribos.** Pueden colocarse estribos iguales y a igual separación dentro de cada viga, y muchas veces en todas las de la estructura lo que simplifica la ejecución.

**Economía.** El peso de acero es algo menor al reducirse los anclajes. El acero sigue pagándose igual por kilogramo con o sin barras levantadas.

**Simplificación del control.** La posición de las barras dobladas se aprecia a la vista mucho mejor que la de los cortes de barra. Son mucho menos probables errores en la colocación de los estribos.

**Eficacia en siniestro.** Se ha comprobado que las vigas agotadas pueden mantenerse colgadas de las barras levantadas, lo que reduce los daños en caso de siniestro.

Los **criterios** de armado de muchos programas son criticables. Ejemplos: Empalmes de barras superiores encima del pilar lo que debe siempre evitarse. Escasa distribución numérica de barras en longitud. Elección poco afortunada de diámetros. Etc. Correcciones posteriores sobre la pantalla de los dibujos de la impresora es conveniente efectuarlos a veces para mejorar el armado de la estructura.

Las **deformaciones** de los pórticos, flechas y desplazamientos se obtienen fácilmente con el ordenador. A mano no suelen hacerse, porque suele ser laborioso, salvo en los casos en que su necesidad es obvia, y casi siempre por métodos simplificados.

## 12. Epílogo

Conviene insistir en unos cuantos conceptos fundamentales, para afianzar los que ya se han ido mencionando.

El **anteproyecto** de la estructura. Es esencial y tiene necesariamente que hacerlo el arquitecto, que puede ser asesorado por técnico especialista. El ordenador puede ayudar bastante a su presentación, pero de ningún modo le sustituye para proyectar. Con un programa de dibujo asistido sí puede sustituir a delineantes.

El **cálculo** de la estructura. Puede hacerlo el arquitecto o encargar todo o





parte a técnicos especialistas en estructuras. Se emplean cada vez más ordenadores para hacer todas las operaciones intermedias y efectuar los armados. Se insiste que para utilizar el ordenador es necesario saber todo lo necesario para hacer los cálculos a mano, y algo más. Es peligroso utilizar un ordenador sin saber hacerlo a mano.

La **comprobación** de los resultados obtenidos a mano o con ordenador y la de los planos es siempre necesaria. Suele efectuarse a mano verificando condiciones de equilibrio, comparando solicitaciones y su armado mediante tablas, etc. El que compruebe tiene que conocer a fondo el comportamiento de las estructuras.

El **ordenador** personal, puede ser de 0,25 a 0,6 Mbyte de memoria RAM, y unidades de disco de 0,5 a 40 Mbyte de memoria exterior. Tendrá pantalla, impresora para tira de 21 cm. de anchura (A4), y periféricos adicionales. Un trazador para tira de 60 cm (A1) completa el equipo.

Se **utilizan** cada vez más los ordenadores personales, y los programas de cálculo de estructuras se han perfeccionado mucho. Se tiene la impresión de que los grandes cambios y avances de los últimos 20 años están atenuándose rápidamente en aparatos, pero no en programas que deben aun evolucionar.

La **pregunta**: Ordenador si o no, se contesta hoy: En el futuro cada vez más sí, aunque el período de transición en que estamos puede ser de bastantes años.

#### Bibliografía del autor

L. García Duran. "Arcos en el método de Cross" 3-12-69. Tesis Doctoral. ETSA, Universidad Politécnica de Madrid, 197-1968.

J. Lahuerta. *Estudio comparativo de las Normas de acciones sísmicas para edificación en varios países*. Arquitectura nº 95 Noviembre 1966, Madrid.

J. Lahuerta. *Cálculo de los forjados por el método de las rótulas plásticas*. Colegio de Arquitectos Vasco-Navarro, Bilbao, 1967.

J. Lahuerta, F. del Cerro. *Situación de la edificación española al comenzar el año 1967*. Ministerio de la Vivienda D.I. nº 726, Madrid 1967.

J. Lahuerta. *Los aditivos en la edificación*. XVI Jornadas Técnicas. Aditivos para hormigones y morteros. ALEMAS, Madrid 1970.

J. Lahuerta, F. del Cerro. *La edificación en España, en el decenio 1961/1970*. Ministerio de la Vivienda D.I. nº 927, Madrid, 1971.

J. Lahuerta. *Control en las obras de albañilería*. Centro de estudios de ingeniería y arquitectura. Bilbao, 1971.

J. Lahuerta. *El arquitecto ante el control de calidad*. Informes de la construcción nº 242, Madrid, 1972.

J. Lahuerta. *El hormigón en los últimos veinticinco años. Evolución de la técnica del hormigón armado*. Tetraceo. Madrid 1973.

J. Lahuerta. *La formación del arquitecto influye en la vivienda*. Nuestro Tiempo nº 229-230. Pamplona 1973.

J. Lahuerta, J. Irujo y V. Glaría. *Ensayos sobre el comportamiento de los forjados de semiviguetas de hormigón pretensado en momentos negativos*. Hormigón y Acero nº 107-108, 1973 Madrid.

J. Lahuerta. *Control de calidad en la cerámica de construcción*. Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio. Vol. 13 nº 6, 1974, Madrid.

J. Lahuerta. *Proyecto de forjados pretensados según la Instrucción EP77*. Hormigón y acero nº 125, 1977 Madrid.

J. Lahuerta. *Anclajes rectos y curvos de barras corrugadas en hormigón armado*. Hormigón y acero nº 127, 1978, Madrid.

J. Lahuerta. *El hormigón en masa en la Instrucción EM 80*. Hormigón y acero nº 142, 1982, Madrid.

J. Lahuerta. *Control de obras de fábrica. Marco general*. Colegio Oficial de Arquitectos, Madrid 1982.

J. Lahuerta. *Rehabilitación de obras de fábrica. Curso de rehabilitación*. Colegio Oficial de Arquitectos, Madrid 1984.

J. Lahuerta, G.J. Manterola. *Estudio teórico y experimental sobre los morteros para muros resistentes de fábrica de ladrillo, para la actualización de la Norma básica MV 201-1972*. Materiales de Construcción. VOL. 34. nº 196. I.E.T.c.c., Madrid 1980.

J. Lahuerta. *Forjados mixtos*. Arte y Cemento nº 32, Madrid, 1986.

J. Lahuerta. *El Arquitecto ante la calidad y su control*. Primera semana de la calidad en la edificación. Oviedo, 1987.